

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA PODNIKATELSKÁ  
ÚSTAV MANAGEMENTU**  
FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT  
INSTITUTE OF MANAGEMENT

# **ŘÍZENÍ PRŮBĚHU ZAKÁZKY ORGANIZACÍ**

MANUFACTURING ORDER MANAGEMENT IN COMPANY

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. IVANA SIMEONOVÁ**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. JOSEF ŠUNKA, PhD.**

**BRNO 2011**

Tato verze diplomové práce je zkrácená (dle Směrnice děkanky č. 1/2010). Neobsahuje identifikaci subjektu, u kterého byla diplomová práce zpracována (dále jen „dotčený subjekt“) a dále informace, které jsou dle rozhodnutí dotčeného subjektu jeho obchodním tajemstvím či utajovanými informacemi.

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Simeonovová Ivana, Bc.**

---

Řízení a ekonomika podniku (6208T097)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává diplomovou práci s názvem:

**Řízení průběhu zakázky organizací**

v anglickém jazyce:

**Manufacturing Order Management in Company**

Pokyny pro vypracování:

Úvod

Vymezení problému a cíle práce

Teoretická východiska práce

Analýza problému a současné situace

Vlastní návrhy řešení, přínos návrhů řešení

Závěr

Seznam použité literatury

Přílohy

Seznam odborné literatury:

- DOLANSKÝ, V., MĚKOTA, V., NĚMEC, V.: Projektový management. Grada. Praha 1996, ISBN: 80-7169-287-5
- DOSTÁL P., RAIS K., SOJKA Z., Pokročilé metody manažerského rozhodování, Praha: Grada Publihing, 2005, ISBN 80-247-1338-1
- GOLDRATT, E., M. Kritický řetězec. Praha: Interquility, 1999. ISBN 80-902770-0-4.
- SVOZILOVÁ, A: Projektový management. Grada Publishing, 2006, ISBN : 80-247-1501-5
- SYNEK M. a kol., Manažerská ekonomika, Praha: Grada Publihing, 2007, ISBN 978-80-247-1992-4
- ŽŮRKOVÁ H., Plánování a kontrola, Praha: Grada Publihing, 2007, ISBN 978-80-247-1844-6

Vedoucí diplomové práce: Ing. Josef Šunka, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

L.S.

---

PhDr. Martina Rašticová, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

doc. RNDr. Anna Putnová, Ph.D., MBA  
Děkan fakulty

V Brně, dne  
29.04.2011

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zaměřuje na řízení průběhu zakázky organizací. Obsahuje příklady výrobních systémů a jejich analýzu za účelem optimalizace. Při optimalizaci se sledují kritéria jako např. zvýšení propustnosti systému, vytíženost zdrojů a další. Výsledkem práce je návrh řešení vyplývající z výsledků optimalizace výrobního systému.

## **Klíčová slova**

Plánování a rozvrhování výroby, diskrétní simulace výrobních systémů, KPI, výrobnost

## **Abstract**

The diploma thesis focuses on the manufacturing order management in company. It contains examples of production systems and their analysis for optimization. During the optimization are monitored major criteria, for example: increase of production rate, resource utilization, and so on. The result of this work is a proposed solution arising from the outputs of optimization the manufacturing system.

## **Keywords**

Planning, Scheduling, Discrete Simulation of Manufacturing Systems, KPI, Production Rates

## **Bibliografická citace**

SIMEONOVÁ, I. *Řízení průběhu zakázky organizací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2011. 90 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Josef Šunka, Ph.D.

## **Čestné Prohlášení**

Prohlašuji, že předložená diplomová práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 3. dubna 2011

.....  
Bc. Ivana Simeonovová

## **Poděkování**

Chtěla bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Josefu Šunkovi, PhD. za jeho odbornou pomoc a vedení při tvorbě této práce. Děkuji tímto i svým rodičům za podporu při studiu.

# Obsah

Obsah .....	7
Úvod .....	8
1 Cíle práce, metody a postupy zpracování .....	9
1.1 Cíle práce.....	9
1.2 Metody a postupy zpracování.....	9
2 Teoretická východiska použita v diplomové práci.....	11
2.1 Úvod do problematiky plánování a rozvrhování výroby.....	11
2.2 Modely výrobních systémů .....	15
2.3 Výkonnostní hodnocení výroby .....	19
2.4 Vývoj plánovacích systémů.....	24
2.4.1 MRP I.....	24
2.4.2 MRP II .....	25
2.4.3 ERP .....	27
2.5 APS (Advanced Planning and Scheduling).....	29
2.5.1 Definice.....	29
2.5.2 Popis.....	29
2.5.3 Princip.....	30
2.5.4 Hlavní druhy APS systémů .....	30
2.6 Přehled APS na trhu .....	33
2.6.1 APS produkty na českém trhu.....	33
2.6.2 Popis vybraných systémů.....	36
2.7 Digitální továrna.....	39
2.7.1 Co je digitální továrna? .....	39
2.7.2 Cíle digitální továrny .....	39
2.7.3 Problémy řešené pomocí digitalizace továrny .....	39
2.7.4 Přínosy digitální továrny.....	40
2.7.5 Systémy digitální továrny (dále jen systémy DF).....	41
2.7.6 Uživatelé systému DF .....	41
3 Závěr .....	43
Seznam použitých zdrojů.....	45
Seznam zkratk.....	47
Seznam obrázků.....	48
Seznam tabulek.....	50

# Úvod

Tato diplomová práce se zabývá řízením průběhu zakázky organizací. Toto téma je podrobně zpracováno na simulačních modelech výrobních systémů.

Plánování a rozvrhování se řadí mezi rozhodovací procesy, které jsou běžně v mnoha průmyslových výroбах a v terciální sféře. Tyto formy rozhodování hrají důležitou roli v zásobování a výrobě, přepravě a distribuci a v informačních procesech a komunikaci. Funkce plánování a rozvrhování v podniku spočívají v matematických technikách a heuristických metodách sloužících k alokaci omezených zdrojů činnostmi, které se mají zajistit. Tato alokace zdrojů musí být realizována takovým způsobem, aby podnik optimalizoval své cíle a dosáhl jich. Zdrojem mohou být stroje v továrně, ranveje na letišti, pracovní čety na staveništích nebo procesory (počítače) ve výpočetním prostředí. Činnosti mohou být operace na staveništích, vzlety a přistání na letištích, fáze stavebního projektu nebo počítačový program, jež má být proveden. Každá aktivita může mít svou prioritu, nejbližší možný čas počátku a termín dokončení. Cíle mohou mít více rozdílných forem, jako například minimalizace času, který je potřeba k dokončení všech činností, minimalizace počtu činností, které jsou dokončeny až po závazném termínu dokončení atd.

V dnešní době turbulentního konkurenčního prostředí je pro každý výrobní podnik důležité, aby se dokázal na trhu prosadit a zvýšit rentabilitu. Jedním ze způsobů, jak toho dosáhnout, je zvýšení výrobnosti pomocí plánování a rozvrhování. Diplomová práce se zabývá touto tematikou. První kapitola obsahuje cíle, postupy a metody zpracování diplomové práce. Druhá kapitola objasňuje teoretická východiska práce, která jsou nezbytná pro pochopení problematiky. Třetí část práce je zaměřena prakticky na dva výrobní systémy, u nichž se aplikuje tato problematika. Závěrem jsou zhodnocena navrhovaná řešení.



# **1 Cíle práce, metody a postupy zpracování**

Tato kapitola definuje cíle práce, kterých má být dosaženo. Dále jsou zde uvedeny metody a postupy použité pro řešení problematiky.

## **1.1 Cíle práce**

Diplomová práce si klade za cíl zvýšení výrobnosti (Production Rate) podniku, jelikož je toto zvýšení pro podnik efektivní vzhledem k jeho celkové rentabilitě. Proto se u řešeného problému porovnávají i investiční náklady. Od tohoto cíle je odvozeno i snížení průběžné doby na zpracování všech výrobních příkazů (Makespan) a snížení délek front u zdrojů (Queue Length).

Klíčovými hodnotícími parametry jsou:

- výrobnost,
- vytížení zdrojů,
- délka front u zdrojů.

Tato optimalizace průběhu zakázky výrobním systémem je dalším stěžejním cílem této práce.

Pro splnění výše uvedených cílů je nezbytné vytvořit simulační model výrobního systému, a to za použití adekvátních analytických nástrojů. V případě této diplomové práce jsou použity APS (Advanced Planning and Scheduling) systémy patřící do kategorie FCP (Finite Capacity Planning).

## **1.2 Metody a postupy zpracování**

Diplomová práce sleduje průběh zakázek výrobním systémem. Pod pojmem zakázka se zde rozumí především výrobní příkaz, nikoliv obchodní zakázka. Důvodem je skutečnost, že ve výrobních podnicích se obchodní zakázky běžně sdružují, aby se vytvořil výrobní příkaz na větší množství požadovaného výrobku. Jsou ovšem i případy, kdy jsou obchodní zakázka a výrobní příkaz totožné.

Analýza průběhu zakázky výrobním systémem je pak použita pro optimalizaci výroby, a to za použití různých optimalizačních kritérií, jako je zvýšení propustnosti výrobního systému, vytěžování zdrojů se zaměřením na úzká místa výroby. Metodika práce zahrnuje následující kroky:

- vypracování simulačního modelu výrobního systému,

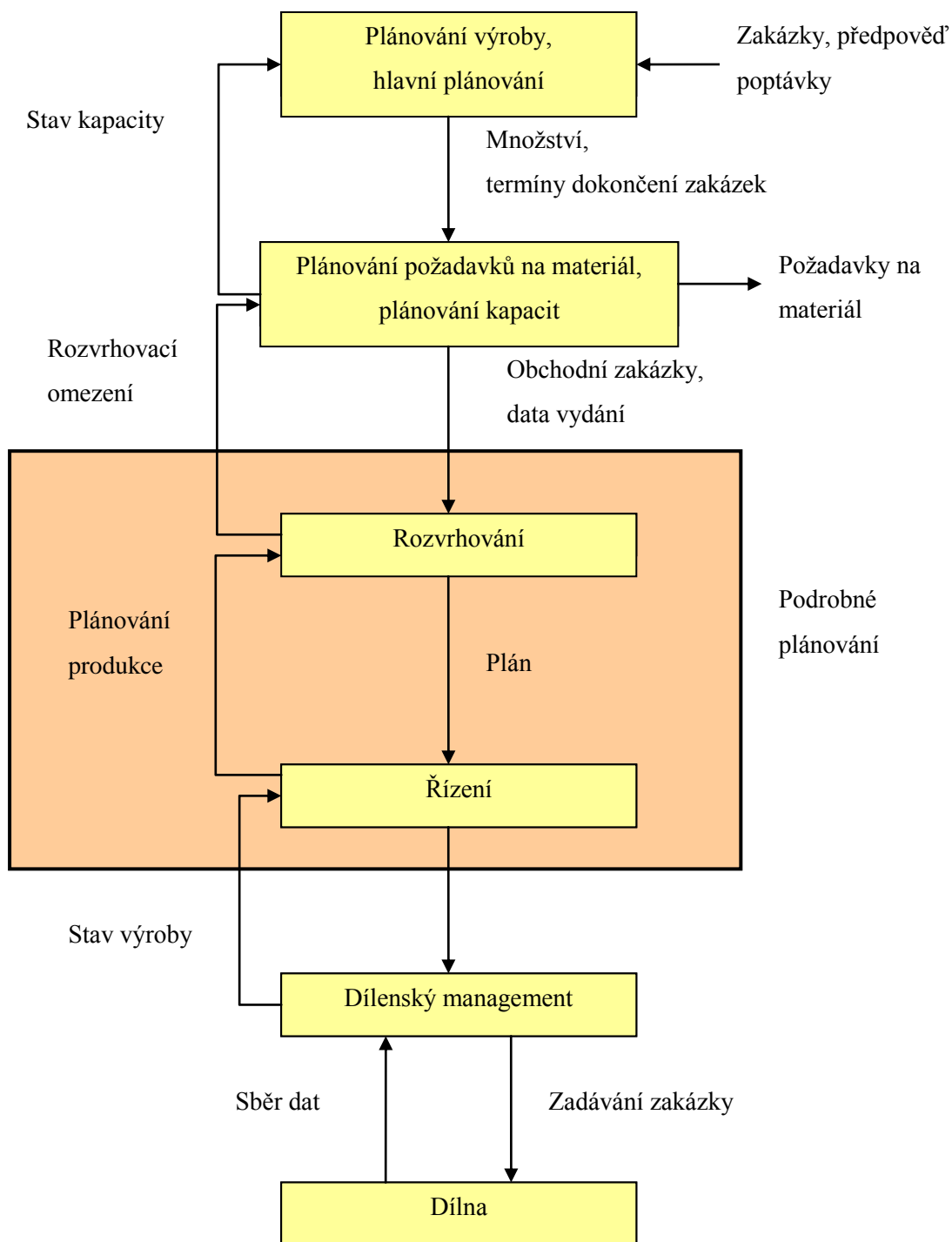
- plánování (rozvržení) výroby – simulace různých alternativ,
- analýza úzkých míst výroby podle procentuálního využití – vzhledem k tomu, že se jedná o statistiku, a vzhledem k tomu, že počet výrobních příkazů může být omezený, tento výstup může být zavádějící. Zdroj ukončí zpracování dávek (během zpracování byl využit i na 100%), ale další zdroje pokračují ve zpracování dávek. Pro výpočet využití se ovšem bere celkový čas v pracovní době do ukončení simulace, i když zdroj již nepracuje. Lepší je zohlednit využití v menších časových intervalech, např. den,
- analýza front vznikajících ve výrobě při dopředném, tlačném plánování,
- analýza ganttových diagramů různých alternativ a posuzování další kapacitních omezení,
- návrh, ověření a hodnocení různých alternativ,
- zpracování doporučení pro manažery výroby.

## **2 Teoretická východiska použitá v diplomové práci**

Druhá kapitola se zabývá teoretickými východisky práce. Ta jsou nezbytná pro správné pochopení problematiky a upřesnění některé terminologie týkající se plánování a rozvrhování výroby.

### **2.1 Úvod do problematiky plánování a rozvrhování výroby**

Následující podkapitola je zaměřena na popis obecného výrobního prostředí a roli jeho plánovacích a rozvrhovacích funkcí. Zakázky, které vstupují do výroby, musí být transformovány na činnosti s přidělenými termíny dokončení. Tyto činnosti musí být zpracovány na strojích v předem dané posloupnosti či pořadí. Zpracování činností může být někdy pozdrženo, pokud jsou určité stroje zaneprázdněny. Nucená přerušení (přednostní vyřízení) mohou nastat, jestliže jsou uvolněny činnosti s vysokou prioritou, takže budou zpracovány jako první. Neočekávané události v dílně, jako například poruchy strojů nebo delší procesní čas, než jaký byl očekáván, musí být také zavedeny do plánu, a to předtím, než začnou mít zásadní vliv na výrobu. Generování detailního rozvrhu úloh (činností), které mají být provedeny, ve výrobním podniku pomáhá udržovat efektivnost výroby a řízení operací. Proces rozvrhování a proces plánování se vzájemně ovlivňují. Proces plánování ovládá středně a dlouhodobé plánování pro celou organizaci. Tento proces je schopen optimalizovat celkový produktový mix firmy a alokaci dlouhodobých zdrojů, založenou na úrovni zásob na skladě, předpovědi poptávky a požadavcích kladených na zdroje. Rozhodnutí vytvořená na této úrovni vyššího plánování mohou mít přímý dopad na detailnější rozvrhování procesů.



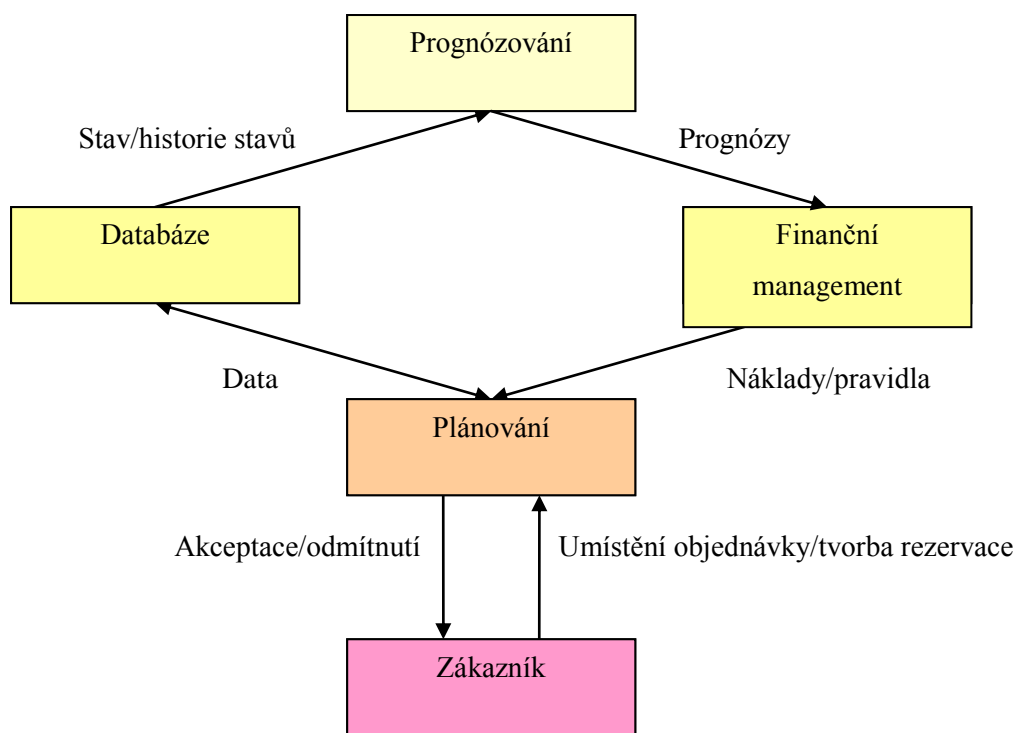
Obr.1: Diagram informačního toku ve výrobním systému.(1)

Ve výrobě musí plánování a rozvrhování komunikovat s ostatními rozhodovacími funkcemi v továrně. Jeden ze systémů, který je hojně využíván, je MRP systém (MRP I – Material Requirement Planning, MRPII – Manufacturing Resource Planning).

Po tom, co byl sestaven hlavní výrobní plán, je nutné, aby všechny materiály a zdroje byly dostupné v určených časech. Data vyhotovení činností musí být určeny systémem pro výrobní plánování a rozvrhování společně s MRP systémem. Každý výrobek v MRP systému má BOM (Bill of Materials - kusovník) rozepisující položky potřebné pro výrobu. MRP systém sleduje zásoby každé položky. Kromě toho stanovuje časy nákupu jednotlivých položek materiálu. Existuje mnoho dostupných komerčních MRP softwarových balíčků. V důsledku toho se mnoho výrobních podniků opírá o MRP systémy, které používá pro účely plánování výroby. Avšak pro MRP systém není jednoduché udělat detailní plánování a rozvrhování uspokojivě.

Moderní továrny často využívají propracovaný systém pro zpracování informací obsahující počítačovou síť a různé databáze. LAN (Local Area Network) osobních počítačů, počítačová pracoviště a vstupní terminály (terminály pro vstupy dat) jsou připojeny k centrálnímu serveru a mohou být také použity pro získání (znovuzískání) dat z různých databází nebo pro vstup nových dat. Plánování a rozvrhování je obvykle zpracováváno na jednom z těchto osobních počítačů nebo počítačové stanici, pracovišti. Terminály na klíčových pozicích mohou být často připojeny k rozvrhovacímu počítači, aby poskytly oddělením přístup k současným rozvrhovacím informacím. Tato oddělení mohou postupně poskytnout rozvrhovací systém s důležitými informacemi, jako jsou změny ve stavu událostí, stavy strojů nebo úroveň zásob na skladě.

Dnešní podniky se často spoléhají na propracované ERP (Enterprise Resource Planning) systémy, které řídí a koordinují informace ve všech podnikových divizích a někdy také informace o svých dodavatelích a zákaznících. Systémy pro podporu rozhodování nejrůznějších typů mohou být spojeny s těmito ERP systémy, které umožňují společnosti rozsáhlé dlouhodobé plánování, střednědobé plánování a také krátkodobé plánování. (1)



Obr.2: Diagram informačního toku v systému CRM (1)

## 2.2 Modely výrobních systémů

Výrobní systémy mohou být charakterizovány rozmanitými faktory: počtem zdrojů (strojů, operátorů, apod.), jejich charakteristikami a konfigurací, úrovni automatizace, typem systému pro manipulaci s materiálem atd. Rozdíly v těchto charakteristikách daly vzniknout množství různých plánovacích a rozvrhovacích modelů. Ve výrobních modelech je zdroj obvykle označován jako „stroj“, úloha, která má být na stroji provedena, je typicky označována jako „práce“. Ve výrobních procesech může práci představovat jedna operace nebo kolekce operací, které mají být vykonány na různých strojích. Před popisem hlavních charakteristik plánovacích a rozvrhovacích problémů je zmíněn stručný přehled 5 tříd výrobních modelů.

První třídou modelů jsou projektové plánovací a rozvrhovací modely. Plánování a rozvrhování projektů je důležité vždy, když mají být uskutečněny rozsáhlé projekty, které se skládají z mnoha etap. Projekty, jako například konstrukce letadlové lodi nebo mrakodrapu, se typicky skládají z množství aktivit a prací, které podléhají prioritním omezením. Práce, které podléhají prioritním omezením nemohou být započaty předtím, než budou ostatní práce spolehlivě dokončeny. V projektovém plánování (rozvrhování) se často předpokládá neomezený počet strojů či zdrojů, takže práce může začít, až jsou všichni tito předchůdci dokončeni. Cílem je minimalizovat čas dokončení poslední práce, častěji označovaný jako hodnota spočtená plánovačem.

Také je důležité najít soubor prací, které určuje hodnota spočtená plánovačem. Dále to, jak jsou tyto práce kritické a nemohou být zpožděny, aniž by nebylo zpožděno dokončení celého projektu. Modely pro projektové plánování jsou také důležité pro plánování a rozvrhování služeb, například plánování a rozvrhování rozsáhlých konzultačních projektů.

Druhá třída modelů obsahuje jednotlivé stroje, souběžné stroje a dílenské modely. V případě prostředí s jednotlivými či paralelními stroji se práce skládá z jedné operace, která může být provedena na kterémkoli dostupném stroji. V plnohodnotné dílně se práce typicky skládají z množství operací, které mají být provedeny na různých strojích. Každá práce má svou vlastní trasu, která musí procházet celým systémem. Operace prací v dílně musí být naplánovány tak, aby minimalizovaly jeden nebo více cílů, jako třeba hodnotu spočtenou plánovačem nebo počet zpožděných prací. Dílny převládají v průmyslových odvětvích, které vyrábějí průmyslové zboží přizpůsobené zákazníkovi. Nicméně se také objevují v odvětví služeb (např. nemocnice). Speciálním případem dílen je nastavení, kde každá z prací

následuje stejnou trasu skrz systémem (tzn., každá práce musí být zpracována na Stroji 1, poté na Stroji 2, atd.). Takové prostředí (nastavení) je obvykle nazýváno průtoková dílna.

Třetí třída modelů je zaměřena na výrobní systémy s automatizovanou manipulací s materiálem. V tomto nastavení se také práce skládá z množství operací. Manipulace s materiálem nebo dopravní systém (přepravník) kontroluje pohyb prací a také čas jejich zpracování na různých strojích. Příkladem takových prostředí jsou flexibilní výrobní systémy, flexibilní montážní systémy a montážní linky. Cílem je typicky maximalizovat propustnost. Taková nastavení (prostředí) převládají v automobilovém průmyslu a ve spotřebitelském elektronickém průmyslu.

Čtvrtá třída modelů je známá jako modely dlouhodobého plánování. Tyto modely se používají pro střednědobé a dlouhodobé výrobní plánování. Na rozdíl od prvních tří tříd, výrobní a požadavkové procesy stále probíhají. V této třídě existují různé produkty. Když stroj mění jeden produkt za jiný, vzniká změna nákladů. Tyto modely jsou důležité ve výrobním průmyslu, jako například v olejových rafineriích a papírnách.

Pátá třída modelů se skládá z modelů pro plánování a rozvrhování dodavatelského řetězce. Tyto modely vykazují tendence hierarchické struktury a jsou často založeny na integraci modelů dlouhodobého plánování (čtvrtá třída modelů) a modelů pro dílenské rozvrhování (druhá třída modelů). Cílové funkce v plánování a rozvrhování dodavatelského řetězce berou v úvahu hospodářské náklady na zásoby v různých fázích v řetězci, jakož i náklady na dopravu mezi etapami. Jsou zde omezení a zábrany na množství produkce a stejně tak na množství, které má být přepravováno z jedné etapy do druhé. Výrobní modely popsané dříve mohou být klasifikovány buď jako diskrétní, nebo spojitě.

Modely plánování a rozvrhování projektu, dílenské modely a flexibilní montážní systémy jsou diskrétní modely. Modely dlouhodobého plánování jsou spojitě. Modely pro plánování a rozvrhování dodavatelského řetězce mohou být spojitě nebo diskrétní. Diskrétní model bývá obvykle formulován jako celočíselný program nebo nespojitý program, zatímco spojitý model může být formulován jako lineární nebo nelineární program. Existují podobnosti, stejně jako rozdíly mezi modely, které byly nyní popsány a modely služeb v následující části. Jedna třída modelů, a sice modelů pro plánování projektu, je důležitá pro výrobu i pro služby.



Důležitou charakteristikou plánovacího modelu je konfigurace strojů. Existuje několik podstatných konfigurací strojů. Níže jsou uvedeny informace o nejzákladnějších z nich.

- **Modely s jedním strojem**

Mnoho výrobních systémů lze namodelovat jako modely s jedním strojem (jednostrojové modely). Například, jestliže je v multi-strojovém prostředí jedno úzké místo, pak sekvence dávek v úzkém místě obvykle určuje výkon celého systému. V takovém případě má smysl plánovat úzké místo první a všechny další operace (předcházející a navazující) potom. To znamená, že původní problém nejprve musí být zredukován na problém modelu s jedním strojem. Jednostrojové modely jsou také důležité v dekompozičních metodách, kde se problémy v plánování v prostředí se složitějšími stroji člení na několik menších problémů jednostrojového plánování.

Jednostrojové modely byly analyzovány v rámci všech druhů podmínek a s mnoha různými cílovými funkcemi. Výsledkem je sbírka pravidel, která pokud je identifikovaná a používána, často poskytuje optimální řešení v jednostrojovém prostředí. Například u pravidla Earliest Due Date (EDD - nejkratší termín dokončení zakázky), které řídí dávky podle rostoucího pořadí termínu dokončení zakázky, bylo prokázáno, že se minimalizovala maximální zpoždění mezi všemi dávkami. U pravidla Shortest Processing Time first (SPT, nejkratší procesní čas, první dávka), bylo prokázáno, že se minimalizoval průměrný počet dávek čekajících na zpracování.

- **Modely paralelních strojů.**

Skupina paralelních strojů je zevšeobecněním jednostrojového modelu. Mnoho výrobních prostředí se skládá z několika skupin pracovních stanic (workcenters), každé s určitým počtem paralelních strojů. Stroje ve skupině mohou být totožné, takže práce mohou být zpracovány na kterémkoli ze strojů, jež je k dispozici. Paralelní strojové modely jsou důležité ze stejného důvodu jako jednostrojové modely:

Pokud je jedna konkrétní skupina úzkým místem, pak plánování na této skupině určí výkon celého systému. Toto úzké místo pak může být modelováno jako skupina paralelních strojů a analyzováno odděleně.

Někdy nemusí být paralelní stroje úplně totožné. Některé stroje mohou být starší a tedy provozovat při nižší rychlosti, nebo mohou být některé stroje lépe udržovatelné a schopné vykonávat kvalitnější práci. Pokud je tomu tak, pak některé práce mohou být zpracovány na kterémkoli z  $m$  strojů, zatímco ostatní práce mohou být zpracovány pouze

na konkrétní podmnožině z  $m$  strojů. Když jsou zdrojem lidé, pak procesní čas operace může záviset na práci, jakož i na osobě nebo operátorovi. Jeden operátor může vyniknout v jednom typu práce, jiný operátor může být více zaměřen na jiný typ.

- **Flow shop modely (Modely průběžné výroby)**

V mnoha výrobních a montážních provozech musí výrobní dávka podstoupit několik operací na několika různých strojích. Pokud jsou trasy všech dávek totožné, tj. všechny dávky jsou zpracovávány na stejných strojích ve stejném pořadí, je prostředí označováno jako průběžná výroba (flow shop). Stroje jsou sériově uspořádány, když je dokončeno zpracování dávky na jednom stroji, připojí se do fronty na další stoj. Pořadí dávek ve frontách se může lišit od stroje ke stroji. Nicméně, jestliže existuje systém pro manipulaci s materiálem, který dopravuje práce z jednoho stroje na druhý, pak je stejná posloupnost dávek zachována v celém systému.

Zobecněním modelů průběžné výroby je takzvaný model flexibilní průběžné výroby (flexibilní flow shop), který se skládá z několika skupin strojů sériově zařazených s tím, že v každé skupině je několik paralelních strojů. V každé skupině mohou být dávky zpracovávány na kterémkoli ze strojů paralelně. V některých flexibilních průběžných výrobach mohou dávky obejít stroj (nebo skupinu), pokud to přímo nevyžaduje technologický postup, a může předběhnout dávky, které jsou na tomto stroji zpracovávány, nebo které čekají na zpracování.

- **Dílenské modely (Job Shop Models)**

V obecném výrobním prostředí mohou mít dávky různé technologické postupy, které určují materiálový tok ve výrobě. Jedná se o zobecnění modelu průběžné výroby, ve kterém dávky mívají stejný technologický postup. Nejjednodušší dílenské modely předpokládají, že výrobní dávka může být zpracována na konkrétním stroji maximálně jednou na své trase výrobním systémem. V jiných modelech může dávka navštívit daný stroj několikrát. Jedná se o výrobu z recirkulace, což výrazně zvyšuje složitost modelu.

Zobecněním dílenského modelu je flexibilní dílenský model s pracovními stanicemi, které mají více paralelních strojů ve skupině. Z kombinatorického hlediska je flexibilní dílenský model s recirkulací jedním z nejsložitějších. Takové výrobní systémy se velmi často vyskytují v polovodičovém průmyslu.

V reálném světě existuje mnoho výrob, které jsou složitější. Nicméně výše uvedené rozdělení výrob je tak zásadní, že jejich analýzy poskytují pohled, který je užitečný pro analýzu i složitějších výrobních systémů.(1)

## 2.3 Výkonnostní hodnocení výroby

Pro výrobní systémy jsou důležité různé typy cílů. Nejdůležitější ze základních cílů výrobního systému jsou:

### Propustnost a celková doba zpracování (makespan)

V mnoha výroбах je maximalizace propustnosti velmi důležitá a manažeři jsou často hodnoceni podle toho, jak velká je propustnost výrobního systému. Propustnost výroby je často určena úzkoprofilovými stroji – tzv. úzká místa výroby. Maximalizace propustnosti výroby je často ekvivalentní maximalizaci propustnosti na úzkých místech. Toho lze dosáhnout několika způsoby. Za prvé, se musí plánovač snažit zajistit, aby úzkoprofilový stroj nikdy nebyl nečinný; to může vyžadovat, aby vždy existovaly nějaké práce čekající ve frontě na stroj. Za druhé, pokud existují na úzkoprofilovém stroji časy seřízení závislé na pořadí dávek  $s_{ijk}$ , pak plánovač musí určit pořadí prací tak, aby součet seřizovacích časů, nebo průměrný seřizovací čas byl minimalizován.

Celková doba zpracování (makespan) je důležitá, když existuje konečný počet prací. Celková doba zpracování je označována  $C_{max}$  a je definována jako čas, kdy poslední práce opouští systém, tj.

$$C_{\max} = \max(C_1, \dots, C_n),$$

kde  $C_j$  je čas dokončení práce  $j$ . Celková doba zpracování je úzce spjata s propustností. Například minimalizace celkové doby zpracování v prostředí s paralelními stroji se seřizovacími časy závislými na pořadí nutí plánovače k rozložení dávky mezi různé stroje a k minimalizaci součtu všech seřizovacích časů. Heuristiky, které mají tendenci minimalizovat celkovou dobu zpracování ve strojovém prostředí s omezeným počtem prací,

mají rovněž tendenci maximalizovat propustnost, pokud je tok dávek konstantní v průběhu času.

### **Termíny dokončení zakázek.**

Existuje několik důležitých cílů, které se vztahují k termínům dokončení zakázek. Za prvé, plánovač se často pokouší minimalizovat maximální *zpoždění*. Zpoždění zakázek je definována následovně: Necht'  $d_j$  naznačuje termín dokončení zakázky  $j$ . Pak zpoždění zakázky  $j$  je

$$L_j = C_j - d_j$$

(Viz obrázek 3.a). Maximální zpoždění je definována jako

$$L_{\max} = \max(L_1, \dots, L_n),$$

Dalším důležitým cílem je počet zpožděných zakázek. Tento cíl se nezaměřuje na to, jak moc je skutečně zakázka zpožděna, ale pouze na to, zda je či není zpožděna. Počet zpožděných zakázek je statistika, kterou lze se snadno vysledovat v databázi, takže manažeři jsou často hodnoceni dle procenta včasných dodávek. Avšak minimalizace počtu zpožděných zakázek může mít za následek plán, ve kterém mohou být některé zakázky velmi zpožděny, což je v praxi nepřijatelné. Zpoždění zakázky  $j$  je definováno jako

$$T_j = \max(C_j - d_j, 0),$$

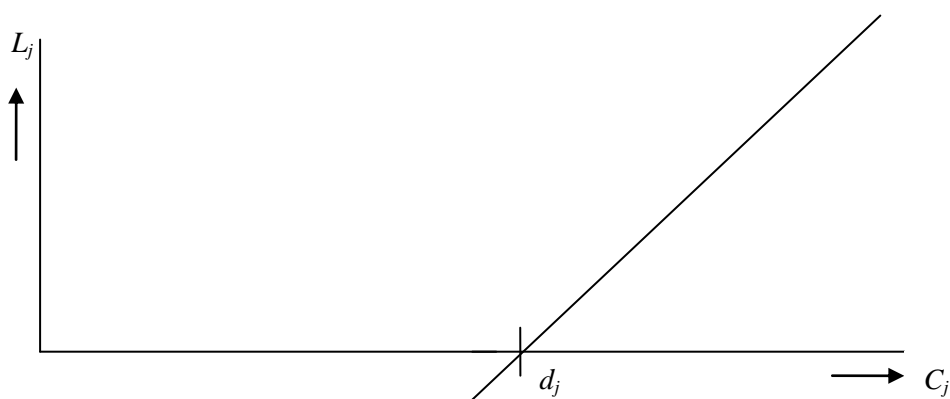
(Viz obr. 3.b) a účelová funkce je definována následovně

$$\sum_{j=1}^n T_j$$

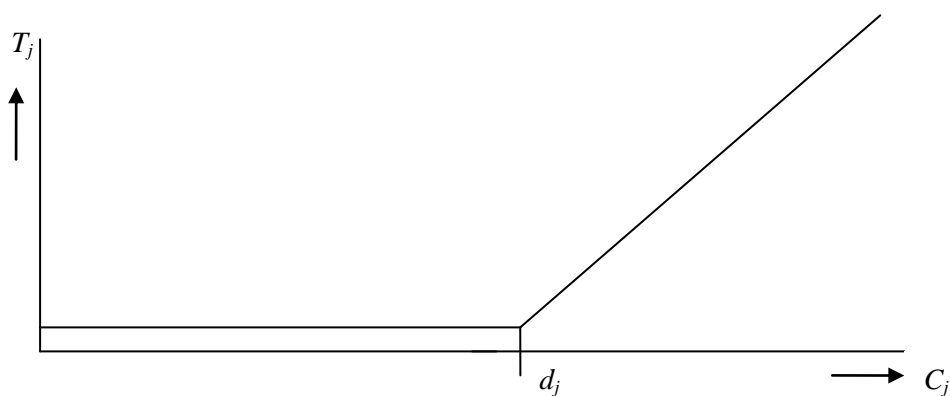
Předpokládejme, že různé zakázky mají různé prioritní váhy, kde  $w_j$  je prioritní váha zakázky  $j$ . Čím větší je prioritní váha zakázky, tím je zakázka důležitější. Zobecněním účelové funkce je celkové váhové zpoždění

$$\sum_{j=1}^n w_j T_j$$

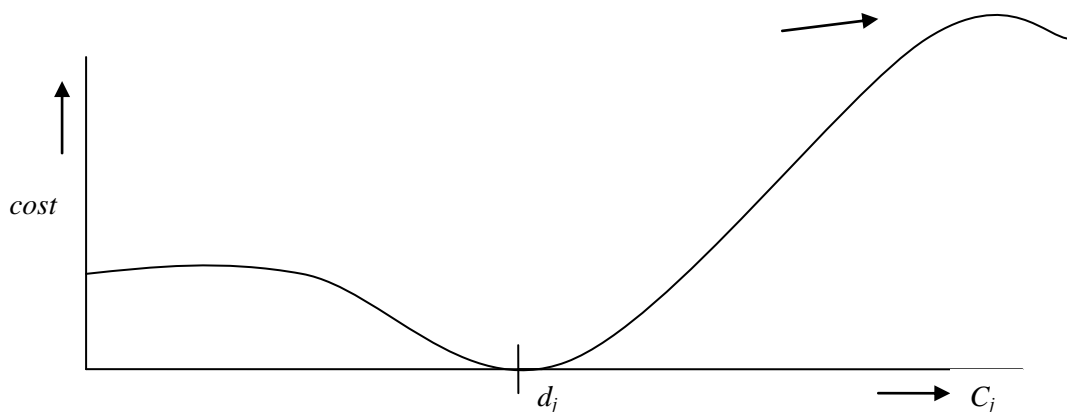
Žádný z cílů souvisejících s termíny dokončení zakázek uvedených výše nepenalizuje předčasné dokončení zakázky. Nicméně v praxi obvykle není výhodné dokončit zakázky dříve, protože to může vést k vyšším nákladům na skladování a dalším nákladům na dopravu. V praxi mohou nákladové funkce vypadat jako ta znázorněná na obrázku 3.c. (2)



Obr.3(a): Zpoždění  $L_j$  zakázky  $j$  (2)



Obr. 3(b): Zpoždění  $T_j$  zakázky  $j$  (2)



Obr. 3(c): Nákladová funkce v praxi (2)

### Náklady na seřízení

Aby se maximalizovala propustnost výrobního systému, doba seřízení se musí minimalizovat. Nicméně existují situace se zanedbatelnou dobou seřízení  $s_{ijk}$ , ale s velkými náklady na seřízení  $c_{ijk}^s$ . Náklady na seřízení nejsou nutně úměrné s dobou seřízení. Například doba seřízení na stroji, který má nadbytečnou výkonnost (tzn. i množství prostojů), není významná, i když takové seřízení může způsobit například velké množství materiálového odpadu.

### Náklady na rozpracovanou výrobu

Dalším důležitým cílem je minimalizace zásob rozpracované výroby (dále WIP = Work-In-Process). WIP váže kapitál a velké množství WIP může znemožnit technologický proces. WIP zvyšuje náklady na manipulaci a starší zásoby se mohou snadno poškodit nebo zastarat. Produkty často nejsou kontrolovány před tím, než dokončí svou cestu výrobním procesem. Pokud je vada, která je zjištěna během závěrečné inspekce, způsobena výrobní krokem na samém začátku procesu, pak všechny zásoby rozpracované výroby mohou být ovlivněny. Tuto skutečnost je velmi důležité zvážit, a to zejména v polovodičovém průmyslu, kde se výnos může pohybovat kdekoli mezi 60% a 95%. Pokud je zjištěna vada, příčina musí být určena okamžitě. To pak poukazuje na práci, která je zodpovědná za vadu a vypovídá o velikosti vadných zásob. Vzhledem k takovým událostem se vyplatí mít nízkou rozpracovanost. Tyto úvahy vedly výrobní společnosti v Japonsku ke konceptu Just-In-Time (JIT).

Výkonnostní parametr, který lze použít jako náhrada za WIP, je průměrná doba propustnosti. Doba propustnosti je doba, za kterou zakázka projde systémem. Minimalizace průměrné doby propustnosti, vzhledem k určité úrovni výstupu, minimalizuje WIP. Minimalizace průměrné doby propustnosti je také úzce spjata s minimalizací součtu časů dokončení, tj.

$$\sum_{j=1}^n C_j$$

$$\sum_{j=1}^n w_j C_j$$

### **Náklady na skladování hotových výrobků**

Důležitým cílem je minimalizovat náklady na skladování hotových výrobků. Náklady na držení jedné položky typu  $j$  v zásobě pro jednu časovou jednotku se označuje  $h_j$ . Výrobní frekvence dané položky a velikost dávky závisí jak na nákladech na dopravu zásob, tak i na době seřízení. V tomto případě frekvence zakázek, stejně jako neurčitost v poptávce, stanovuje minimální pohotovostní zásobu, která musí být uchována. Ale i v takovém případě je důležité minimalizovat náklady na skladování hotových výrobků.

### **Náklady na dopravu**

V sítích, které se skládají z mnoha výrobních podniků, mohou náklady na dopravu představovat významnou část celkových výrobních nákladů. Existují různé druhy dopravy, např. nákladní, železniční, letecká a námořní, a každý režim má svou vlastní sadu vlastností s ohledem na rychlost, náklady a spolehlivost. V praxi se přepravní náklady na jednotku často zvyšují konkvávně podle transportovaného množství. Avšak zavedeme předpoklad, že náklady na dopravu jedné jednotky výrobku ze zařízení  $a$  na zařízení  $b$  jsou nezávislé na transportovaném množství a jsou označovány  $c_{ab}^m$ . Existuje mnoho dalších cílů, kromě výše uvedených. Například jakmile se Just-In-Time (JIT) koncepty více zakořenili ve výrobním průmyslu, jedním cílem se stala minimalizace součtu časů předstihů ve výrobě (earlinesses). V JIT systému by zakázka měla být dokončena těsně před svým závazným termínem dokončení tak, aby se zabránilo dalším zásobám a nákladům na přepravu. Dalším cílem pro plánovače je vytvořit plán, který je tak robustní, jak je to jen možné. Pokud je plán robustní, pak potřebné změny, které musí být provedeny v případě přerušení (např. porucha stroje,

spěšná zakázka), mají sklon být minimální. Nicméně, koncept robustního plánu nebyl ještě dobře definován, a proto také není jasné, jak se optimalizuje. (3)

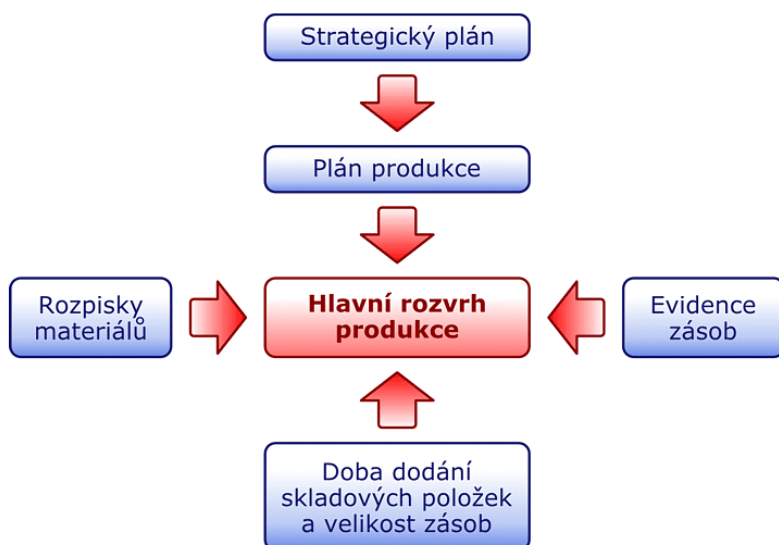
## 2.4 Vývoj plánovacích systémů

Prvními systémy pro plánování výroby byly MRP I (Material Requirements Planning) systémy založené na plánování materiálových potřeb, které nebraly v úvahu výrobní zdroje, jako strojový čas, lidskou pracovní sílu apod. Systémy MRP II (Manufacture Resource Planning) berou v potaz veškeré zdroje spojené s výrobou. Součástí výrobních ERP (Enterprise Resource Planning) systémů jsou MRP moduly pro vlastní plánování a řízení výroby, respektující specifickou charakteristiku určitých typů výrobních procesů - dávkovou výrobu, sériovou výrobu, zakázkovou výrobu apod.

APS systémy se vyvinuly ze systémů MRP I a MRP II a sdružují v sobě rysy ERP. Následující kapitola se tedy zabývá těmito předchůdci APS systémů. (4)

### 2.4.1 MRP I

MRP I je informační systém, vytvořený pro řízení zakázek a rozvrhování zásob svázaných s výrobou. MRP systém dává odpověď na tři základní otázky: Co je potřeba? Kolik je toho potřeba? Kdy je to potřeba?



Obr. 4: Tvorba hlavního plánu výroby(5)



- **Hlavní plán výroby**

Hlavní plán výroby podrobně určuje plánovaná množství zboží, která mají být vyrobena během určitého období. Vychází ze strategického plánu podniku a z plánu produkce.

- **Kusovníky materiálu**

Kusovníky materiálu určují požadované množství komponentů výrobku. Potřebné množství, kvalita a doba potřeby dílů závisí na rozvrhu výroby finálních výrobků.

- **Řízení zásob**

Řízení zásob představuje zabezpečování a udržování optimálního množství zásob, potřebných pro realizaci plánů. Ve většině provozů nelze zaručit plynulý chod provozu bez určité úrovně zásob. (5)

#### **2.4.2 MRP II**

Plánování výrobních zdrojů (MRP II) je definováno jako metoda pro efektivní plánování všech zdrojů výrobního podniku. V ideálním případě řeší i operativní plánování, finanční plánování, a má schopnost zodpovědět "what-if" otázky. MRP II je řídicí koncept sloužící k větší produktivitě používaných zdrojů. MRP II není standardní softwarový systém a může mít mnoho variant. Téměř každý MRP II systém má modulární skladbu. Charakteristiky základních modulů v systému MRP II jsou:

- hlavní plán výroby (MPS),
- technologické postupy,
- kusovníky,
- výrobní zdroje - výrobní technické údaje,
- řízení zásob,
- řízení nákupu,
- plánování materiálu (MRP),
- dílenské řízení (SFC),
- plánování kapacit (CRP),
- standardní kalkulace (náklady řízení),
- vykazování nákladů / řízení (řízení nákladů).

společně s pomocnými systémy, jako jsou:

- obchodní plánování,
- řízení zakázky,
- nástroje řízení,
- změnové řízení,
- správa konfigurace,
- sběr dílenských dat,
- prodejní analýzy a předpovědi,
- plánování s omezenými kapacitami (FCS).

a souvisejících systémů, jako jsou:

- hlavní knihy,
- závazky z obchodního styku,
- pohledávky (odbytu),
- řízení prodejních objednávek,
- plánování požadavků na distribuci (DRP),
- automatizované řízení skladu,
- projektové řízení,
- technické záznamy,
  - předpověď poptávky – Forecasting,
  - Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing (CAD / CAM),
  - CAPP (Computer Aided Production Planning).

MRP II systém integruje tyto moduly dohromady tak, že používají společná data a snadno si mezi sebou vyměňují informace. (6)

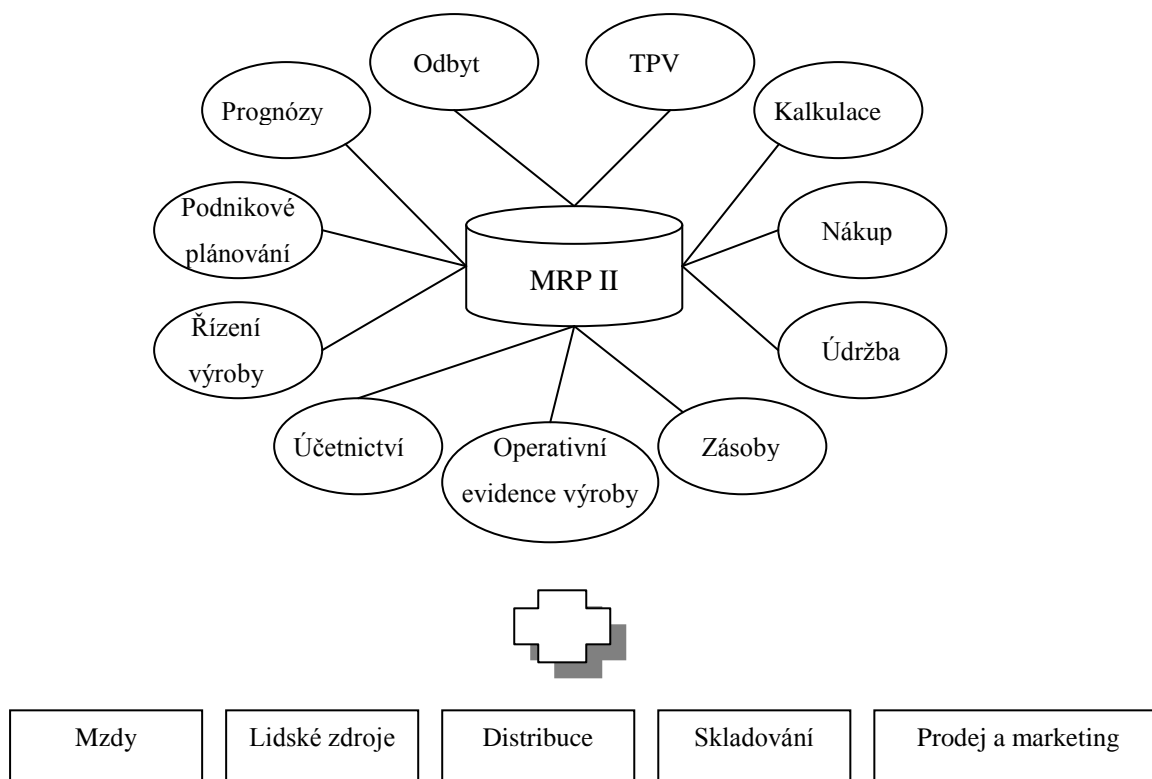
### 2.4.3 ERP

Enterprise Resource Planning (ERP) je systém, který integruje a automatizuje velké množství procesů souvisejících s produkčními činnostmi podniku. ERP systémy obsahují aplikace, které integrují zákazníky podniku, výrobky, zaměstnance, finanční, výrobní a distribuční informace. Tyto informace ERP systémy ukládají do relační databáze, odkud je lze čerpat a pracovat s nimi.

Přínosy ERP systémů:

- poskytuje informační infrastrukturu potřebnou k
  - implementaci business plánu,
  - tvorbě reportů,
  - datům pro TPV, skladování a výrobu,
- poskytuje rychlý a spolehlivý přístup ke klíčovým informacím,
- umožňuje sledovat a řídit náklady výroby, hodnotu zásob a finanční toky,
- eliminuje redundantní zdrojová data,
- redukuje materiál / náklady na skladování,
- snižuje náklady na nákup,
- zkracuje průběžnou dobu výroby,
- snižuje náklady na IS.

(7)



Obr.5: Enterprise Resource Planning (ERP) (8)

## **2.5 APS (Advanced Planning and Scheduling)**

### **2.5.1 Definice**

Pokročilé plánování a rozvrhování (Advanced Planning and Scheduling) je metoda souběžné synchronizace kapacit a materiálů podle příslibeného termínu dokončení zakázek. Jedná se tedy o moderní systémy pro plánování výroby, které se snaží maximalizovat efektivnost využití výrobních prostředků. (9)

Odkazuje se na proces řízení výroby, kde jsou suroviny a výrobní kapacity přidělovány optimálně pro uspokojení poptávky. APS je obzvláště vhodný pro prostředí, kde jednodušší metody plánování nemohou adekvátně řešit složité interakce mezi vzájemně si konkurujícími prioritami. (10)

### **2.5.2 Popis**

Tradiční plánovací a rozvrhovací systémy (například plánování zdrojů výroby typu MRP) využívají postupnou proceduru pro přidělování materiálu a výrobních kapacit. Tento přístup je jednoduchý, ale těžkopádný, a nesnadno se přizpůsobí změnám v poptávce, v kapacitách zdrojů nebo v dostupnosti materiálu. Materiály a kapacity se plánují samostatně, a mnoho systémů neuvažuje omezené dostupnosti materiálu nebo kapacitní omezení. Proto tento přístup často vede k plánům, které nemohou být provedeny v reálu.

Na rozdíl od jiných systémů, APS současně plánuje a rozvrhuje výrobu na základě dostupných materiálů, práce a kapacit závodu.

APS je obvykle používán tam, kde je přítomna jedna nebo více těchto podmínek:

- výroba na zakázku (Make-To-Order); na rozdíl od výroby na sklad (Make-To-Stock),
- kapitálově náročné výrobní procesy (kontinuální výroba),
- na každém zařízení se zpracovává mnoho různých produktů,
- přípravky, které vyžadují velký počet komponent nebo výrobních úkonů,
- výroba vyžaduje časté změny v plánu, které nelze předvídat dříve, než nastanou.

Software pro pokrokové plánování a rozvrhování umožňuje optimalizaci výrobního a pokročilého plánování v těchto prostředích. (10)

APS systémy se vyvinuly ze systémů MRP( MRP I-Material Requirements Planning, MRP II-Manufacture Resource Planning), ze systémů pro kapacitní plánování CRP (Capacity Requirement Planning) a ze systémů pro rozvrhování výroby. APS sdružují rysy ERP (Enterprise Resource Planning) systémů a znalosti pro plánování a rozvrhování výroby. APS systémy nahrazují MRP systémy a využívají ERP systémy pro připojení na reálný výrobní systém. (9)

### **2.5.3 Princip**

Na rozdíl od ERP systémů, APS berou v úvahu zároveň materiálové a kapacitní požadavky při generování materiálového plánu. Během rozvrhování každé zakázky řeší APS pro každou operaci současně materiály a kapacity. Nejprve je zkoušeno rozvrhnout zakázku pozpátku od termínu, kdy má být hotová. Toto by mohlo být optimální řešení. Pokud to však není možné, pak je zakázka rozvrhovaná dopředu (to znamená od termínu, kdy vstoupí do výroby) a pak se provede znovu rozvrhování pozpátku, aby se odstranily časové mezery. Všechno se odehrává v jednom synchronizačním procesu. Materiálové a kapacitní plánování není již iterační proces jako je tomu u MRP (I,II) systémů.

APS systémy nabízejí uživateli schopnost v reálném čase, on-line, zjistit termíny dokončení zakázek, neboli termíny, kdy je možno přislíbit, že zakázky budou hotové. Tyto termíny jsou odvozeny od aktuálního stavu výrobních zdrojů v reálném čase, místo toho, aby se odhadovalo a čekalo, kdy bude asi výrobní dávka dokončena. Pokud zákazník souhlasí s nabízeným termínem, pak je zakázka okamžitě zařazena do rozvrhu. (9)

### **2.5.4 Hlavní druhy APS systémů**

#### **2.5.4.1 Síťové modely (Network Models, Theory of Constraints -Teorie omezení)**

APS systémy využívající síťových modelů se soustředí na objednávky zákazníka a na to, jak jsou tyto individuální zakázky řízeny v podniku, v závodu. Díky tomu, že se plánuje, jak každá zakázka bude postupovat ve výrobě, je možné předpovídat, kdy a kde zakázky budou kolidovat. Tento typ modelu běží směrem shora dolů - tím, že se začíná od objednávky zákazníka a končí se u jednotlivých strojů a zařízení. Nejpokrokovější APS systémy se snaží vyloučit práci v dávkách. Každá zakázka je naplánovaná tak, jak vstupuje do výroby, přitom je bráno na zřetel materiálové a kapacitní hledisko, a to průběžně.

Prvotní přednost tohoto typu modelu spočívá v jeho schopnosti řešit globálně prioritní požadavky, rozpoznat nebezpečí vzniku úzkých míst a synchronizovat zakázky. Management může analyzovat průchod reálných nebo hypotetických zakázek výrobním systémem a zkoumat, jak si tyto zakázky vyhrazují výrobní kapacity a zdroje v průběhu výroby. Výrobce synchronizuje doručení materiálů přesně tak, jak si to žádá výroba, místo toho, aby objednával dopředu materiály v dávkách. Skutečné sklady nemusí existovat, protože nevznikají fronty.

Většina síťových modelů vyžaduje několik průchodů při rozvrhování. Například v prvním průchodu se vypočítávají materiálové požadavky, v druhém průchodu se zohlední kapacitní limity, pak se vrací nazpět a korigují se znovu materiálové požadavky. Problém mnohoprůchodnosti spočívá v tom, že může trvat neurčitě dlouho.

#### 2.5.4.2 Finite Capacity Schedulers (Simulation Based)

Dřívější systémy tohoto typu byly založeny na simulační osnově. Později, asi ke konci osmdesátých let, se tyto systémy vyvinuly do podoby systémů pro rozvrhování výroby, které berou v potaz omezenost dostupných kapacit (Finite Capacity Schedulers - Simulation Based). Model v těchto systémech bere na zřetel jednotlivé stroje a zařízení výroby a zkoumá nejlepší sekvence při průchodu výrobních dávek těmito stroji. Existuje sklon pracovat s některými odnožemi teorie front. Priority jsou nastavovány na základě sekvenčních požadavků lokálních pracovních stanic. Tak je vypracován plán pro celý podnik směrem zdola nahoru.

Tendence využívat tento typ modelu mají především kapitálově intenzivní výroby, u kterých je nečinnost strojů drahá. Takže výrobce, který chce využívat plnou kapacitu vybavení a vyrábět průběžně (nepřetržitě), se zaměřuje na řízení sekvenčnosti (front) u jednotlivých strojů. Výkonnost a efektivnost jednotlivých strojů má větší prioritu než globální priority podniku.

Tento druh modelu dosahuje největší úrovně využitelnosti a užitečnosti. Například v lakovně se ztrácí méně času na vymytí a přeseřízení, když se přechází ze světlejších barev na tmavší. Nebo přeseřízení stroje z výrobků typu A na typ B je rychlejší než z typu A na typ C apod. Systémy využívající tento druh modelu, umožňující konfigurovat pravidla řízení výrobních dávek, poskytují uživateli efektivní nástroj pro řízení priorit a výkonnosti výrobních systémů.

Jeden z nedostatků tohoto typu modelu spočívá v tom, že předpokládá, že existují ve výrobě fronty. Bez těchto front systém nemůže efektivně pracovat. Protože systémy

využívající simulační modely operují s pravidly aplikování na jednotlivé stroje (nebo skupiny strojů), pak ne vždy můžeme předpokládat dosažení globálního optima.

Všechny simulační modely užívající dávkový režim mají omezené schopnosti přizpůsobit se měnícím se podmínkám požadavků zákazníků a stavu výroby.

#### 2.5.4.3 Optimalizace (matematické modely)

Tyto modely berou na zřetel jak globální synchronizaci požadavků zákazníků, tak i požadavky jednotlivých pracovních stanic na uspořádání front výrobních dávek. Jako příklad je možné uvést lineární programování, neuronové sítě, genetické algoritmy, heuristickou iteraci, umělou inteligenci.

Nejlepší výsledky jsou dosahovány v kontinuální výrobě. Jelikož se jedná o stabilnější výrobní prostředí, matematické modely se mohou „učit“ a optimalizovat určité výrobní procesy. Například při výrobě práškové metalurgie ze 100 jednotek vstupního materiálu se vyrobí někdy 91 jednotek, někdy 97 jednotek. Management výroby zjistil, že pokud běží výrobní zařízení rychleji, pak se vyrobí menší množství za kratší dobu (průběžná doba z hlediska zákazníka je kratší) a naopak, pokud běží výrobní zařízení pomaleji, vyrobí se větší množství za delší průběžnou dobu. Matematické modely mohou pomoci tomuto výrobcí, aby zoptimalizoval množství a průběžné doby.

Hlavní přednost těchto modelů spočívá v jejich schopnosti učit se z opakování procesu a najít optimální úroveň výkonnosti výroby. Tento druh modelu nepracuje dobře v podnicích, kde je častá změna zakázek nebo vzniká nutnost často přeplánovávat výrobu, protože se mění podmínky optimalizace a strategie rozvrhování. (9)



## 2.6 Přehled APS na trhu

Mnoho výrobních společností v Evropě se snaží pro výrobní plánování používat MRP (Material Requirements Planning) algoritmus. V Japonsku jsou ve srovnání s Evropou daleko více rozšířeny specializované softwarové aplikace pro detailní kapacitní plánování a rozvrhování výroby. Ty udávají „takt“ celému závodu a synchronizují výrobní kapacity.

V Evropě je pouze několik málo dodavatelů skutečného APS software. Obecně je software pro plánování a řízení výroby na Západě méně zastoupen ve srovnání se softwarem pro ostatní byznys oblasti. Důvodem je zřejmě fakt, že v Japonsku je pro IT oddělení zpravidla hlavním „zákazníkem“ výroba nebo oddělení výrobního plánování. V Evropě je IT oddělení často podřízeno finančnímu řediteli. (11)

### 2.6.1 APS produkty na českém trhu

I přes předchozí fakt se na českém trhu stále rozšiřují APS systémy. V dnešní době se zde vyskytuje široké množství APS produktů. I proto je třeba je porovnávat podle různých kritérií. Mezi ně patří například:

#### 1. Funkčnost systému

Toto kritérium určuje do jaké míry je systém rozvinut, zda dokáže optimalizovat dle různých parametrů, jaké plánování a jaké metody využívá. Konkrétní hodnotící parametry jsou:

- optimalizace
  - dle úzkých míst,
  - dle závislých seřizování,
  - dle volitelných kritérií.
- plánování
  - strategické,
  - operativní,
  - taktické,
  - dle dopravy,
  - dle dodávky,
  - dle poptávky,
  - ATP(Available-to-Promise),
  - AATP(Allocated-Available-to-Promise),
  - CTP(Capable-to-Promise).

- metody
  - CRP(Continuous Replenishment Planning),
  - VMI(Vendor Managed Inventory),
  - ECR(Efficient Consumer Response),
  - CPFR(Collaborative Planning, Forecast and Replenishment).

## **2. Zaměření systému**

Využitelnost systémů APS ve výrobě je velmi široká. Systémy APS se využívají v mnoha průmyslových odvětvích, např. ve strojírenství, hutnictví, automobilovém průmyslu, chemickém průmyslu a mnoha dalších. Jsou zaměřeny také na mnoho druhů výrob. Proto jedním z hodnotících kritérií je i zaměření systému, a to na:

- typ výroby
  - kontinuální,
  - diskrétní.
- sériovost výroby
  - kusová,
  - sériová,
  - hromadná.
- odvětví-průmysl
  - automobilový,
  - hutní,
  - chemický, farmaceutický,
  - potravinářský a nápojářský,
  - stavební,
  - strojírenský,
  - textilní, obuvnický,
  - ostatní.

### **3. Další vlastnosti systému**

- používaná implementační metodologie,
- certifikace produktu.

### **4. Architektura a platformy**

- architektura systému,
- platforma systému - operační systém serveru,
- platforma systému - operační systém klienta,
- možné platformy systému – databáze.

### **5. Uživatelé**

Toto kritérium uvažuje rozšířenost systému mezi uživateli, a to celosvětově, ale i v České a Slovenské republice. Konkrétní kritéria jsou:

- počet instalací produktu (počet zákazníků celosvětově),
- počet instalací produktu v ČR,
- pro jakou velikost podniku je produkt určen,
  - malé podniky (obrat do 250 mil. Kč),
  - středně velké podniky (obrat 250 mil. - 2 mld. Kč),
  - velké podniky (obrat nad 2 mld. Kč).
- reference,
  - průměrná doba implementace u podniku střední velikosti,
  - reference produktu v ČR.

(12)

## **2.6.2 Popis vybraných systémů**

Jak už bylo zmíněno výše, na českém trhu se vyskytuje mnoho APS systémů s různým zaměřením. Následující podkapitola zahrnuje popis několika z nich.

### **2.6.2.1 AHP Leitstand**

AHP Leitstand je nástroj pro operativní plánování a řízení výroby. AHP Leitstand řeší výrobní plány na jiné úrovni než komerční celopodnikové informační systémy a to jak z hlediska času, tak z hlediska zdrojů.

Je určen k tomu, aby napomohl s denní organizací práce na dílně. Jinými slovy, aby zbavil mistry administrativní plánovací práce a umožnil jim věnovat se práci mistra – tj. zajistit výrobu podle reálného plánu práce sestaveného pro jednotlivá výrobní zařízení v rámci směny nebo dne. AHP Leitstand byl navržen k tomu, aby doplnil mezeru ve funkcionalitě, kterou mají tzv. komplexní informační systémy. A z toho důvodu je také připravený k integraci s podnikovým systémem (a to i v případě, že se plánuje např. v Excelu).(13)

### **2.6.2.2 AROP**

AROP - Systém plánování a řízení výroby je softwarový nástroj sloužící pro přímou podporu řízení výrobního procesu. Základní koncepce systému (MSO – Modelování, Simulace, Optimalizace) je metodou umožňující na základě vložených údajů modelovat, předvídat a optimalizovat budoucí výrobní procesy. V reálné praxi pak vychází ze situačně závislé dostupnosti zdrojů. Přináší trvalou simulaci průtoku výrobním systémem, jejímž východiskem je okamžitý stav výrobních aktivit. Dynamické plánování výroby umožňuje přímé řízení hmotného toku ve výrobě s minimálními nároky na sběr dat.

AROP informuje o aktuálním stavu a úzkých místech ve výrobě, avizuje skluzy a jejich budoucí dopady na plnění výrobního plánu, zabezpečuje výrobu potřebnými hmotnými vstupy a kapacitami v libovolném časovém okamžiku, řídí a sleduje činnost vstupní, výstupní a mezioperační kontroly. AROP reaguje na změny uvnitř i v okolí výrobního procesu, řeší věcnou i prostorovou organizaci veškerých zásob a jejich sledovatelnost z hlediska původu a kvality a tvorbou kompletního archivu dat popisujícím skutečný průběh výroby, zabezpečuje zpětnou sledovatelnost jakosti podle normy ISO 9000. Kromě detailního plánování

a sledování hmotného toku ve výrobě přináší i jeho potřebné nákladové a ekonomické vyjádření s přímou vazbou na účetní operace o nedokončené výrobě a pohybech zásob. (14)

#### 2.6.2.3 Asprova

Asprova APS je multifunkční nástroj pokročilého plánování a rozvrhování, který má více než 1400 implementací. Asprova APS obsahuje rozmanité specifikace a funkcionality, jako jsou automatické dělení operace, určení hladiny zatížení, nastavení priorit zdrojů, výpočet potřebného množství pracovníků, nastavení přídatných zdrojů (formy, upínky, nástroje, apod.), slučování a rozdělování procesů, nastavení periody platnosti zdroje, omezení, který zdroj může provádět následující proces podle podmínek omezení zdroje, funkce pro definice vyhodnocovacího výběru zdrojů, nastavení omezení pro ukončení seřízení nebo procesu, dispečerská pravidla pro výběr zakázky s největšími prioritami, definice množiny parametrů pro provádění různých simulací, sdružování dávek z důvodu redukce seřizovacích časů procesů, filtrování podle označení části zakázek, procesů nebo položek, dopředné a zpětné rozvrhování s omezeními časovými bufry, omezení zdrojů s ohledem na bezpečnostní hladinu zásob i přidělení zásob, nastavení dovolující rozmanité specifikace podmínek pro paralelně probíhající procesy, mapa dovedností pracovníků dovolující specifikovat jejich přidělení ke zdrojům a jejich dovednosti pro tyto zdroje, funkcionalita automatického přidělování se zřetelem na komplexní podmínky přidělování mezi zakázkami, nastavení seřizovacích časů obsahující externí seřizování, zdržení nebo změny seřizovacího času, hrubé plánování dovolující vybilancování zatížení bez fixace zakázek, automatická generace příkazů (výrobních, zásobovacích, apod.) na doplnění materiálů (zásob) s ohledem na stávající úroveň. Během přeplánování je možné uchovat (zapamatovat) přidělené pozice a provádět rozmanité modifikace, generovat výrobní příkazy podle forecastu zákazníků s ohledem na bezpečnostní úroveň zásob, sdružování dávky meziproductů pro každou časovou periodu.

#### 2.6.2.4 Infor ERP Syteline APS

Infor ERP Syteline je komplexní systém řízení výrobního podniku. Je vhodný i pro hybridní typy výroby a podporuje procesy, které urychlují výrobu. Řešení zahrnuje integrované pokročilé plánování, které synchronizuje materiál a kapacity na zakázky. Infor ERP SyteLine poskytuje integrovaný nástroj ke konfiguraci zakázky. Dále umožňuje držet

nízké zásoby a současně předcházet nedostatkům materiálu. Řešení automatizuje proces výpočtu a monitoruje úroveň zásob – prognózy, pojistné zásoby a velikost dávky.

Zahrnuje sofistikované nástroje pro sběr a analýzu dat – přičemž tato data využívá pro plánování a rozhodování. Nové formuláře a tlačítka redukuje počet klikání a umožňují snadnější navigaci. Nástroje pro kustomizaci jsou plně integrovány, což snižuje či eliminuje riziko případných modifikací. (15)

#### 2.6.2.5 Preactor

Preactor obsahuje funkcionalitu a vlastnosti, které jsou vyžadovány od plánovacího nástroje.

Je to aplikace, která pracuje v prostředí MS WINDOWS a převážně umožňuje práci s myší. Umožňuje kontrolu podnikových činností, zlepšený zákaznický servis a možnost dosáhnout snížení nákladů. Preactor poskytuje plánovač s podpůrným nástrojem na interaktivní rozhodování, který udržuje rovnováhu mezi poptávkou a kapacitou. Na rozdíl od tabulek a MRP se může Preactor zabývat složitostmi širokého záběru systémů. Nastavení a používání generuje plány v minutách.

Je celosvětově instalován na více než 3000 místech ve 64 zemích. Posloupnost práce může být prováděna použitím automatických dostupných celků, ale Preactor také dovoluje plánovači upravit počítačem vygenerovaný plán posunutím činností v posloupnosti a z jednoho zdroje na druhý.

Urgentní objednávky mohou být upřednostněny, kritické práce v budoucnosti zablokovány a mnoho plánů vyzkoušeno a srovnáno před stanovením rozhodnutí. Data z rozdílných běžících plánů mohou být přeneseny do Gantova diagramu, výkresů a reportů. Fronta práce pro každý zdroj, karta směru trasy pro každou dávku a další informace mohou být generovány ve formátu definovaném uživatelem. (16)

## **2.7 Digitální továrna**

Tato kapitola se zabývá reprezentací reálné výroby v podobě digitální továrny. Virtuální provoz výrobního systému umožňuje experimenty, které by byly ve skutečnosti drahé, časově náročné, nebezpečné nebo zcela nemožné.

### **2.7.1 Co je digitální továrna?**

Digitální továrna (Digital Factory - DF) je virtuálním obrazem reálné výroby, který zobrazuje výrobní procesy ve virtuálním prostředí. Pod tímto pojmem se také rozumí předvídavé a průběžné plánování výroby.

### **2.7.2 Cíle digitální továrny**

Jedním z hlavních cílů zavedení digitální továrny je včas a digitálně ověřit efektivitu různých variant plánování a rychlejší a pečlivější příprava procesů a simulace. Digitalizace umožňuje omezit náklady a časové ztráty pomocí optimalizace ve vývojové fázi. V neposlední řadě je cílem digitalizace dosáhnout úspěchu na trhu výrobků a udržet si náskok oproti konkurenci.

Níže jsou uvedeny některé hlavní cíle zavedení digitalizace:

- zrychlení procesů plánování,
- snížení nákladů,
- zvýšení kvality plánování,
- řízení komplexnosti výrobku a procesu,
- zlepšení komunikace s vývojovými partnery a dodavateli,
- kratší doba náběhu při nižších nákladech.

### **2.7.3 Problémy řešené pomocí digitalizace továrny**

Digitální továrna se zavádí zejména v situacích, kdy je potřeba řešit některé z následujících problémů

- nedostatek kapacity,
- logistika,
- ztráty při chybě v plánování,
- kapacita skladů,

- využitelnost zdrojů,
- přidání nových zařízení atd.

#### **2.7.4 Přínosy digitální továrny**

Hlavní přínosy digitální továrny lze spatřovat především v oblasti plánování nové výroby a řadí se mezi ně zejména:

- snížení podnikatelského rizika při zavádění nové výroby,
- ověření navrhovaného konceptu výroby a výrobních procesů,
- virtuální prohlídky výrobních hal,
- optimalizace rozmístění výrobního zařízení,
- odhalení slabých míst a kolizí,
- omezení potřeby prototypů,
- programování strojů a linek off-line,
- rychlejší rozmísťování strojního zařízení,
- simulace výrobních linek, robotů a pracovních postupů,
- prověření procesů před zahájením výroby,
- posouzení ergonomie pracovišť,
- redukování potřebné plochy a úprav zařízení,
- urychlení změnového řízení,
- lepší využívání dostupných zdrojů.



Následující tabulka (Tab.č.1) zobrazuje výsledky dosažené nasazením systémů DF (dle studie CIMdata report „The Benefits of Digital Manufacturing“ ).

Přínosy systémů DF	
Úspory nákladů díky snížení majetku:	10%
Úspora ploch díky optimalizaci layoutů:	25%
Úspora nákladů díky lepšímu využití zdrojů:	30%
Úspora nákladů díky optimalizaci materiálových toků:	35%
Snížení počtu strojů, nástrojů a pracovišť:	40%
Celkové snížení nákladů:	13%
Celkové zvýšení produkce:	15%
Zkrácení doby nutné k uvedení výrobku na trh:	30%

Tab.1: Výsledky dosažené nasazením systému DF(17)

### 2.7.5 Systémy digitální továrny (dále jen systémy DF)

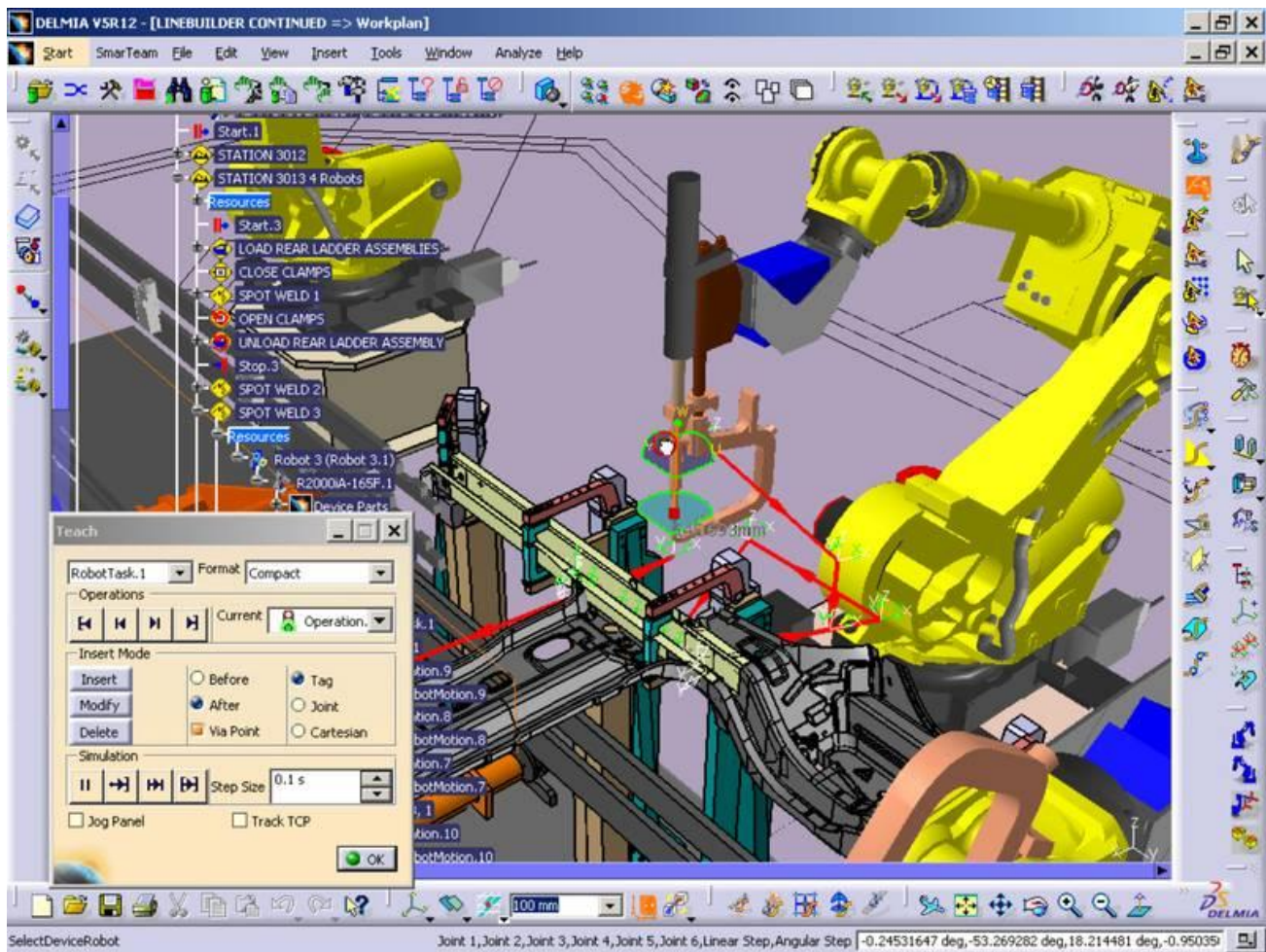
Systémy DF představují další, logický krok v postupném vytváření specializovaných nástrojů pro podporu procesů v celém životním cyklu výrobků. Již během fáze plánování mohou být ověřeny všechny části výrobního systému takovým způsobem, že následná reálná výroba výrobku pak bude zajištěna z hlediska kvality, času a nákladů. Kumulativní náklady na provedení jakékoliv změny výrazně rostou s tím, jak se přibližuje termín zahájení výroby (Start of Production - SOP). Přitom ověření vyrobitelnosti při klasickém plánování je možné, až když existují fyzické prototypy výrobků a výrobních zařízení. Díky možnosti přesunout ověřování vyrobitelnosti do ranějších fází plánování, jsou náklady na provedení změn při využívání systémů DF výrazně nižší. Systémy DF dále vytvářejí podstatně lepší podmínky pro týmovou spolupráci v etapě plánování výroby a umožňují rychlou zpětnou vazbu mezi konstruktéry a plánovaly.

### 2.7.6 Uživatelé systému DF

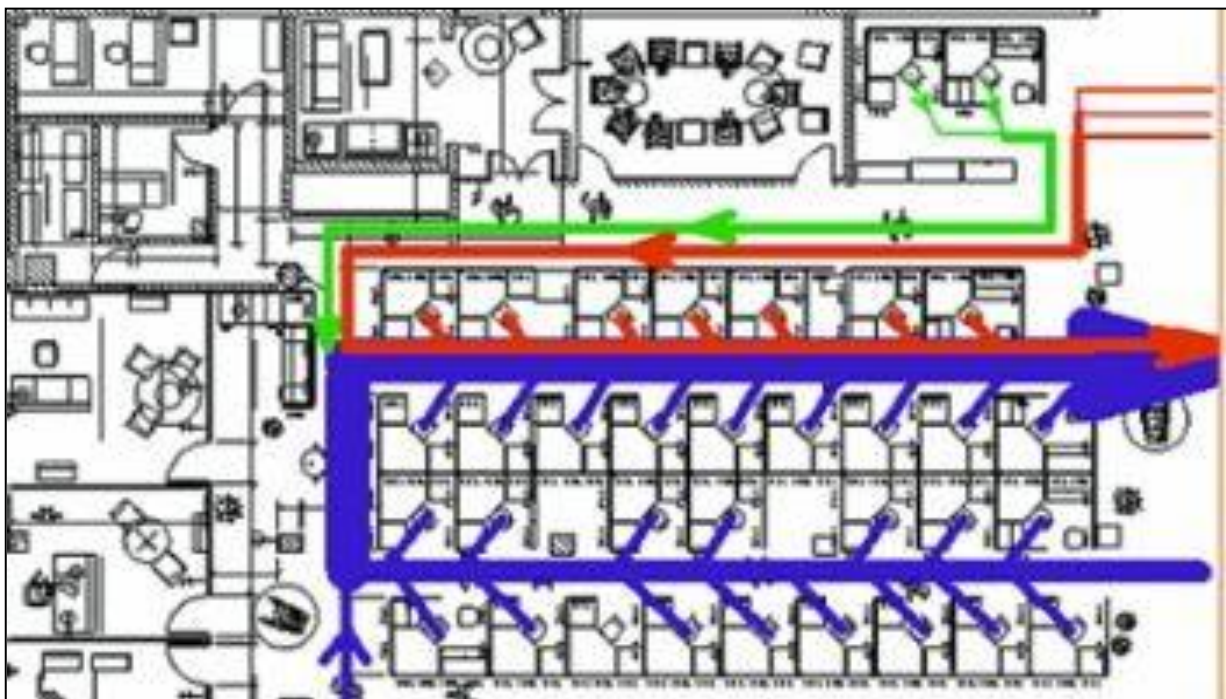
Výrobní podniky, které využívají systému DF, pocházejí většinou z několika oblastí. Je to především oblast automobilového průmyslu, leteckého průmyslu, elektrotechnického průmyslu a průmyslu staveb zařízení a strojírenství.

Některými uživateli systému DF jsou například společnosti: Airbus, Audi, Bath Iron Works, BMW, Boeing, DaimlerChrysler, Fiat, Ford, GM, Kia Motors, Lockheed Martin,

Mazda, Northrop Grumman, Opel, Peugeot, Renault, Saab, Siemens, Škoda Auto, Toyota, Volkswagen a další. (17)



Obr. 6a,b: Ukázky virtuální továrny (převzato z materiálů firmy Siemens)(17)



### 3 Závěr

Proces tvorby této práce byl přínosný, a to nejen z hlediska využití informací z vysokoškolského studia, ale i získání cenných zkušeností s tvorbou simulačního modelu. Praktické seznámení s APS systémy mi přineslo nový rozhled o možnostech těchto systémů, jako například integrace s plánovacími aplikacemi, porovnání alternativ a přehledné grafické zobrazení simulačního modelu a výsledků. Při konfrontaci s profesionálním prostředím v oboru počítačové simulace jsem si rozšířila vědomosti a rozhled v této oblasti.

Pro analýzu a optimalizaci byly vytvořeny simulační modely dvou výrobních systémů za použití APS systémů patřících do kategorie FCP (Finite Capacity Planning).

Po prosimulování různých alternativ rozvržení výroby byla vyhodnocena nejlepší varianta a doporučena pro aplikaci na výrobní systém. Analýza úzkých míst výroby se prováděla podle procentuálního využití zdrojů, analýzy front vznikajících ve výrobě při dopředném plánování a analýzy ganttových diagramů. Byla zpracována doporučení pro manažery výroby.

Při zpracovávání této práce bylo kladeno za cíl zvýšení výrobnosti (Production Rate) podniku. Z tohoto důvodu byly použity dva přístupy, které na sebe navazují. U prvního přístupu se zvyšuje jen směnnost a počet operátorů, aniž by se přidávaly nové zdroje. U druhého přístupu se pro rozšíření kapacity úzkých míst přidaly nové stroje za cenu navýšení investičních nákladů.

Pro první přístup byly vygenerovány a porovnávány různé alternativy (0 až 5). Nejlepší výrobnost vykazuje alternativa 3 (19.356 ks/hod), přičemž ale dochází ke snížení využití klíčového zdroje 3050016. U alternativy č.3 je dosažen nejkratší simulační čas na zpracování všech dávek a největší hodinová výrobnost 19.356 [ks/hod] (Production rate). Pro aplikaci do výrobního podniku byla doporučena alternativa číslo 3, tzn. zavedení druhé a třetí směny pro zdroj 3050026 a zavedení třetí směny pro zdroj 6020025. Zvyšování kapacity je prováděno v celých směnách na základě požadavku managementu podniku.

U druhého přístupu byly postupně navyšovány kapacity přidáním pracovních směn a potom i přidáním zdrojů. Bylo rozpracováno 8 alternativ. Navyšování kapacit se provádí podle vzniku úzkých míst ve výrobě. U každé z alternativ jsou uvedeny i investiční náklady. Rozhodnutí o vhodnosti alternativy bude provádět management podniku na základě forecastingu poptávky (požadavku výrobnosti) a investičních nákladů.

Dále byl zpracován další simulační model výrobního systému (slévárna), kde byl sledován průběh zakázky organizací. Při implementaci simulačního modelu slévárny muselo být vyřešeno několik problémů. Jednalo se zejména o vytvoření procesních plánů pro model (z umělého dřeva), flexibel a odlitek. Algoritmus hmotného toku pro odlitek byl nejvíce náročný, protože zde bylo nutné zajistit rozdělení výrobní dávky na segmenty a speciální kontrolu vybraných segmentů.

Vytvořený simulační model hodnotí kapacitní požadavky na jednotlivé zdroje. Tento simulační model generuje plán práce pro zdroje a skupiny zdrojů (viz. Ganttovy diagramy). Na základě výstupů jednotlivých simulačních běhů bylo zjištěno, že následkem poruchovosti strojů u zkoumané skupiny došlo ke snížení výrobnosti a využitosti zdrojů. Výrobnost zavedením poruch poklesla v rámci zkoumané skupiny zdrojů z 1,033 na 0,893. Využití zdrojů pokleslo v rámci zkoumané skupiny zdrojů z 0,5 na 0,43. Tyto výstupy ukazují, jak se vlivem špatné kvality či zastaralosti zdrojů sníží výrobnost celého systému. Z toho vyplývá doporučení managementu podniku, aby věnoval zvýšenou pozornost údržbě zdrojů a rozpracoval plán pro štíhlou výrobu.

Další využití simulačního modelu se předpokládá pro ověřování nových výrobních plánů, změny v konfiguraci výrobního systému a také pro dílenské řízení výroby v reálném čase.

## Seznam použitých zdrojů

- (1) PINEDO, Michael L. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York, USA : Springer, 2005. 506. ISBN: 0-387-22198-0.
- (2) ASKIN, Donald G., GOLDBERG, Jeffrey B. *Design and analysis of lean production systems*. The University of Arizona : John Eley and Sons, 2002. 533. ISBN: 0-471-11593-2.
- (3) MAIMON, O., KHMELNITSKY, E., KOGAN, K. *Optimal flow control in manufacturing systems (Production Planning and Scheduling)*. The Netherlands : Kluwer Academic Publisher, 1998. 346. ISBN: 0-7923-5106-1.
- (4) HOUSER, P. *MRP (Material Requirements Planning, Manufacture resource Planning*. [online]. 2007 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://businessworld.cz/ostatni/mrp-material-requirements-planning-manufacture-resource-planning-3311>>.
- (5) HÁLEK. *Plánování a organizování*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://halek.info/prezentace/planovani-organizovani-prednasky/poprp.php?l=04&projection&p=15>>.
- (6) *Manufacturing Resource Planning*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing\\_resource\\_planning](http://en.wikipedia.org/wiki/Manufacturing_resource_planning)>.
- (7) *Enterprise Resource Planning*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Enterprise\\_resource\\_planning](http://cs.wikipedia.org/wiki/Enterprise_resource_planning)>.
- (8) VÍDECKÁ, Z. *Plánování a řízení výrob*. Přednášky předmětu Informační podpora procesů (Fakulta Podnikatelská VUTBR). 2010
- (9) SIMEONOV, S. *Pokročilé plánování a rozvrhování*. Přednášky (Fakulta Strojní VUTBR). 2010

- (10) *Pokročilé plánování a rozvrhování*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced\\_planning\\_and\\_scheduling](http://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_planning_and_scheduling).
- (11) KURZ, Z. *Postavení APS systémů v Japonsku*. [online]. 2010 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://aimagazine.cz/aimagazine/7-vyroba/192-postaveni-asp-system-v-japonsku>.
- (12) *APS/SCM systémy*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://www.systemonline.cz/prehled-informacnich-systemu/aps-scm-systemy/>.
- (13) *Operativní řízení výroby*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://www.axiomsw.cz/operativni-rizeni-vyroby/operativni-rizeni-vyroby.html?SInp=AHP+Leitstand&RND=2711409>.
- (14) *AROP- Systém plánování a řízení výroby*. [online]. 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://www.arsiq.cz/arop/>.
- (15) *Infor ERP Syteline*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://www.iteuro.cz/reseni/produkt-erp/>.
- (16) *APS Preactor*. [online]. [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://www.minerva-is.eu/aps-preactor.html>.
- (17) SIMEONOVÁ, I. *Simulace a analýza výrobního systému*. (Bakalářská práce) Brno: VUTBR (Fakulta Informačních Technologií), 2008. 45 s.
- (18) *O nás*. [online]. 2007 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z: <http://www.medin.cz/cz/uvod/onas.html>.

## **Seznam zkratek**

AATP (Allocated Available To Promise)

APS (Advanced Planning and Scheduling)

ATP (Available To Promise)

BOM (Bill Of Materials)

CAD (Computer Aided Design)

CAM (Computer Aided Manufacturing)

CAPP (Computer Aided Production Planning)

CPFR (Collaborative Planning, Forecast and Replenishment)

CRP (Capacity Requirement Planning; Continuous Replenishment Planning )

CTP ( Capable To Promise)

DF (Digital Factory)

DRP (Distribution Resource Planning)

ECR (Efficient Consumer Response)

EDD (Earliest Due Date)

ERP (Enterprise Resource Planning)

FCP (Finite Capacity Planning)

FCS (Finite Capacity System)

JIT (Just In Time)

LAN (Local Area Network)

MPS (Master Production Schedule)

MRP I (Material Requirement Planning)

MRP II (Manufacturing Resource Planning)

MSO (Modelování, Simulace, Optimalizace)

SFC (Shop Floor Control)

SOP (Start Of Production)

SPT (Shortest Processing Time first)

VMI (Vendor Managed Inventory)

WIP (Work In Process)

## Seznam obrázků

Obr.1: Diagram informačního toku ve výrobním systému.

Obr.2: Diagram informačního toku v systému CRM

Obr.3(a): Zpoždění  $L_j$  zakázky  $j$

Obr. 3(b): Zpoždění  $T_j$  zakázky  $j$

Obr. 3(c): Nákladová funkce v praxi

Obr. 4: Tvorba hlavního plánu výroby

Obr.5: Enterprise Resource Planning (ERP)

Obr.6a,b: Ukázky virtuální továrny

Obr.7a: Produkt-šrouby

Obr.7c: Produkt-hřeby

Obr.7b: Produkt-dlahy

Obr.8: Stroje a mezisklady v jednotlivých výrobních halách

Obr.9: Definice výrobků

Obr.10: Definice zakázky

Obr.11: Process Plan

Obr.12: Definice procesního kroku

Obr.13: Definice zdroje, skupiny zdrojů

Obr.14: Definice směn

Obr.15: Definice sdružení zdrojů do skupiny

Obr.16: Definice meziskladu

Obr.17: Nastavení simulačního prostředí

Obr.18 a,b: Ganttovy diagramy pro zdroje a zakázky

Obr.19: Tabulka - úzká místa

Obr.20: Grafická prezentace vytíženosti zdrojů

Obr.21: Definice úzkých míst – vytíženost směn

Obr.22: Délka fronty v čase

Obr.23: Využití zdrojů

Obr.24: Zatížení zdrojů 3050016\_1

Obr.25: Fronta dávek u skupiny zdrojů 3050016

Obr.26: Průměrná průběžná doba zakázky



Obr.27: Výrobnost výrobního systému  
Obr.28: Průměrný počet dávek v procesu  
Obr.29: Počet dávek čekajících na zpracování  
Obr.30: Procentuelní využití zdroje 3050016  
Obr.31: Procentuelní využití zdroje 3050026  
Obr.32: Procentuelní využití zdroje 6020025  
Obr.33: Simulační čas jednotlivých alternativ v hodinách  
Obr.34: Modelovací komponenta Demand  
Obr.35: Výrobnost systému – rozšíření variant  
Obr.36: Vývoj investičních nákladů u jednotlivých alternativ  
Obr.37: Konceptuální model systému  
Obr.38: Část simulačního modelu  
Obr.39: Formulář sloužící k modelování zdrojů  
Obr.40: Formulář sloužící k modelování skupin zdrojů  
Obr.41: Formulář sloužící k modelování materiálů  
Obr.42: Formulář sloužící k modelování procesních plánů - zde pro odlitek  
Obr.43: Formulář sloužící k modelování výrobků  
Obr.44: Formulář sloužící k modelování zakázek  
Obr.45 Formulář sloužící k modelování vyhledávacích tabulek  
Obr.46: Formulář sloužící k modelování procesního kroku  
Obr.47: Ganttův diagram pro zdroje  
Obr.48: Ganttův diagram pro výrobní dávky  
Obr.49: Procesní čas dávek – histogram  
Obr.50: Počet výrobků v procesu  
Obr.51: Sumarizační výstup alternativy  
Obr.52: Sumarizační výstup pro zdroje a skupiny zdrojů  
Obr.53: Formulář zobrazující definici poruchy elektrického vybavení  
Obr.54: Využití zdrojů skupiny F5FI00MS  
Obr.55: Využití zdrojů skupiny  
Obr.56: Využití zdrojů skupiny z hlediska alternativ  
Obr.57a: Porovnání hodnot alternativ  
Obr.57b: Porovnání hodnot alternativ  
Obr.58: Výrobnost (Propustnost systému)

## **Seznam tabulek**

Tab.1: Výsledky dosažené nasazením systému DF

Tab.2: Haly výrobního systému

Tab.3: Dávky na výrobní příkaz

Tab.4: Alternativy řešení

Tab.5: Zdroje alternativy 001

Tab.6: Všechny alternativy, jejich výrobnost a investiční náklady

Tab.7: Struktura položky technologického postupu

Tab.8: Struktura položky kusovníku

Tab.9: Blokový diagram znázorňující výrobní postup odlitku

Tab.10: Blokový diagram znázorňující výrobní postup flexibelu

Tab.11: Blokový diagram znázorňující výrobní postup modelu